

УДК 503.175; 621.43.06

DOI 10.33042/2522-1809-2019-6-152-73-78

А.П. Полив'янчук¹, М.Ф. Смирний¹, С.В. Романенко¹, Р.А. Семененко¹,
Р.В. Плотнікова², Д.П. Онацький¹, О.С. Єфімов²

¹ Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

² Харківський державний університет харчування та торгівлі, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ І КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК

Представлено універсальну систему екологічної діагностики теплових двигунів та котельних установок, яка складається з трьох модулів: вимірювального, тестувально-демонстраційного і лабораторного. Описані методи підвищення ефективності контролю екологічних показників двигунів і котелів. Наведено результати експериментальних досліджень системи діагностики та методів підвищення її точності на натурних об'єктах: дизелях – 4ЧН12/14, Д65М, ДЕЛ-1 і котлах – АОГВ-100Е, КЧМ-2М-4.

Ключові слова: тепловий двигун, котельна установка, діагностика, екологічність, забруднюючі речовини, ефективність.

Вступ

Використання транспортних засобів і об'єктів енергетики супроводжується значним негативним впливом на навколишнє середовище – викидами CO₂ та забруднюючих речовин у атмосферу, що сприяє розвитку та посиленню локальних і глобальних екологічних проблем. Робота теплових двигунів (ТД), котельних установок (КУ) і ТЕЦ потребує забезпечення паливом, потреба в якому з розширенням теплових мереж зростає. У зв'язку з цим проблема підвищення еколого-енергетичної безпеки транспортного сектору і систем комунальної енергетики в умовах збільшення їх впливу на природне середовище і зростання цін на енергоносії має високу актуальність.

В сучасних умовах екологічність стає одним з найбільш вагомих показників якості сучасних ТД, в першу чергу транспортного призначення, і КУ, які використовуються в енергетиці, промисловості, комунальній та інших сферах. При проведенні екологічного діагностування ТД і КУ стикаються з проблемою необхідності підвищення універсальності і точності вимірювального обладнання, яка обумовлена поетапним удосконаленням екологічних нормативних документів, розширенням сфери застосування екологічних стандартів, зменшенням рівнів контрольованих показників [1-3]. В даних умовах створення ефективних систем екологічного діагностування ТД і КУ, які відповідають діючим та перспективним нормативним вимогам, з широкою сферою застосування є актуальним напрямком досліджень. При цьому дана система повинна мати такі властивості, як: універсальність - можливість діагностики різних ТД і КУ; висока точність вимірю-

вань при мінімальній вартості обладнання; компактність, мобільність і зручність в експлуатації; здатність до удосконалення.

Мета і завдання дослідження

Метою даної роботи було створення системи екологічної діагностики ТД і КУ (далі – системи діагностики) з використанням інформаційних методів підвищення ефективності контролю показників хімічного і фізичного забруднення навколишнього середовища цими об'єктами. Для досягнення вказаної мети було вирішено такі завдання: 1) створення системи діагностики відповідно до вимог нормативних документів - Правил ЄЕК ООН R-49, R-83, R-96, ISO 8178 та ін.; 2) розробка методів підвищення ефективності контролю нормованих екологічних показників ТД; 3) експериментальні дослідження системи діагностики та методів підвищення її точності на натурних об'єктах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Найбільш чутливим і точним обладнанням для визначення концентрацій та викидів забруднюючих речовин (ЗР), що утворюються при згорянні вуглеводних палив, є розбавляючі тунелі, які використовуються при проведенні екологічної сертифікації автомобільних та інших транспортних ДВЗ [4]. Це обумовлено тим, що серед різних типів ТД і КУ автомобільні двигуни характеризуються найнижчими допустимими рівнями концентрацій ЗР у відпрацьованих газах (ВГ), які за останні 15 років – при переході від норм EURO-3 до EURO-6 зменшилися у 2,5...10 разів [5]. Також тунелі характеризуються високою швидкістю та здатні вимірювати миттєві

значення концентрацій ЗР у ВГ при випробуваннях ДВЗ за їздовими циклами [6]: New European Driving Cycle (NEDC), European Transient Cycle (ETC), Worldwide Transient Vehicle Cycle (WTVC) та ін.

Серед існуючих типів тунелів найбільш компактним і мобільним та найменш вартісним обладнанням є мікротунелі, які характеризуються: діаметром та довжиною трубопроводу розбавлення ВГ – $D \times L$ – 2,5...4 см \times 25...40 см; продуктивністю пробовідбірною насосу – 60...125 лн/хв.; коефіцієнтом розбавлення ВГ – 4...50 [4]. В МКТ для визначення концентрацій ЗР у ВГ використовується метод динамічного розбавлення газової проби повітрям до температури, яка не перевищує 52 °С – точку роси важких вуглеводнів, що містяться у продуктах згоряння палива. Цей метод дозволяє імітувати природний процес потрапляння ЗР у атмосферу та має такі переваги над методом прямого вимірювання концентрацій ЗР у ВГ: зменшується хімічна активність і температура газової проби та покращуються умови експлуатації пробовідбірною обладнання, діапазони вимірювання концентрацій ЗР збільшуються пропорційно коефіцієнту розбавлення ВГ та розширюється галузь застосування газоаналізаторів [4].

Порівняно з процедурами визначення екологічних показників транспортних ДВЗ аналогічні процедури для КУ є менш складними та передбачають встановлення фактичних рівнів хімічних і фізичних забруднень на регламентованих режимах роботи цих об'єктів. При цьому допустимі значення цих показників також мають тенденцію до зниження [3].

При визначенні показників токсичності ВГ з використанням мікротунелів слід враховувати методичні похибки вимірювань цих величин, які залежать від умов відбору та підготовки до аналізу газових проб [7, 8]. При зменшенні величин, що вимірюються, значимість цих похибок зростає.

Виклад основного матеріалу

Опис системи діагностики та її елементів. На основі світового і власного досвіду створення та експлуатації обладнання для екологічного моніторингу транспортних двигунів і котелень, наведеного в роботах [1–5], авторами розроблено універсальну, багатофункціональну систему діагностики, яка дозволяє визначати такі екологічні показники: концентрації ЗР у відпрацьованих газах ТД, димових газах КУ і атмосферному повітрі; масові, питомі і середньоексплуатаційні викиди ЗР; рівні шуму, теплових забруднень, вібрацій; приземні концентрації ЗР в атмосферному повітрі та ін. Система діагностики складається з 3-х функціональних модулів (рис. 1).

Інструментальний модуль призначений для виконання безпосереднього контролю технічних і екологічних показників досліджуваних об'єктів з

використанням: багатоканального портативного газоаналізатора ОКСИ-5М, компактної системи контролю викидів ТЧ – мікротунелю МКТ-2, шумо-міра-реєстратора DT-6652, тепловізора Testo 871, вимірювача вібрацій VM6360 та ін.

Тестувально-демонстраційний модуль призначений для тестування вимірювальних приладів і обладнання, імітаційного моделювання процесів відбору та аналізу газових проб, демонстрації принципів дії, технічних можливостей і правил експлуатації засобів екологічної діагностики ТД і КУ при підготовці кваліфікованих фахівців.

Лабораторний модуль призначений для проведення якісного та кількісного аналізу газових проб, відібраних в ході досліджень джерел забруднення навколишнього середовища з використанням фотометричного, гравіметричного, іонометричного та інших методів вимірювань.

Методи підвищення ефективності контролю нормованих викидів ЗР. В системі діагностики реалізовано методи контролю та підвищення точності вимірювань середньоексплуатаційних викидів газоподібних забруднюючих речовин і ТЧ - показників GAS і PT, вимірюваних відповідно до вимог Правил ЄЕК ООН R-49, R-96 і стандарту ISO 8178.

Метод оцінки точності вимірювань величин GAS і PT. Даний метод дозволяє визначати результуючі похибки вимірювань зазначених величин як похибку результату непрямих вимірювань (табл. 1); при цьому використовується формула [9]:

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i \right)^2 \right)},$$

де y – величина, яка визначається розрахунковим шляхом за відомою залежністю $y = (x_1, x_2, \dots, x_n)$; x_1, x_2, \dots, x_n – величини, вимірювані безпосередньо в ході випробувань; n – кількість таких величин; Δx_i – відомі похибки вимірювань величин x_i .

Залежності, наведені в табл. 1, можуть використовуватися при аналізі впливу похибок вимірювального обладнання системи діагностики на точність визначення величин GAS і PT.

Метод підвищення точності вимірювань показника PT. Даний метод, реалізований в мікротунелі МКТ-2, дозволяє підвищити точність вимірювань показника PT за рахунок врахування методичної похибки вимірювань даної величини - δPT_t , яка виникає через вплив температури проби перед пробовідбірним фільтром - t_f на вимірюваний масовий викид ТЧ - m_{pm} [10]. Температура t_f при контролі PT залежить від температури повітря, що надходить в тунель - t_{dil} і максимальної температури проби в тунелі - $t_{f(max)}$, які, у відповідності до вимог стандарту ISO 8178, можуть змінюватись в діапазонах: $t_{dil} = 20...30$ °С і $t_{f(max)} = 42...52$ °С.

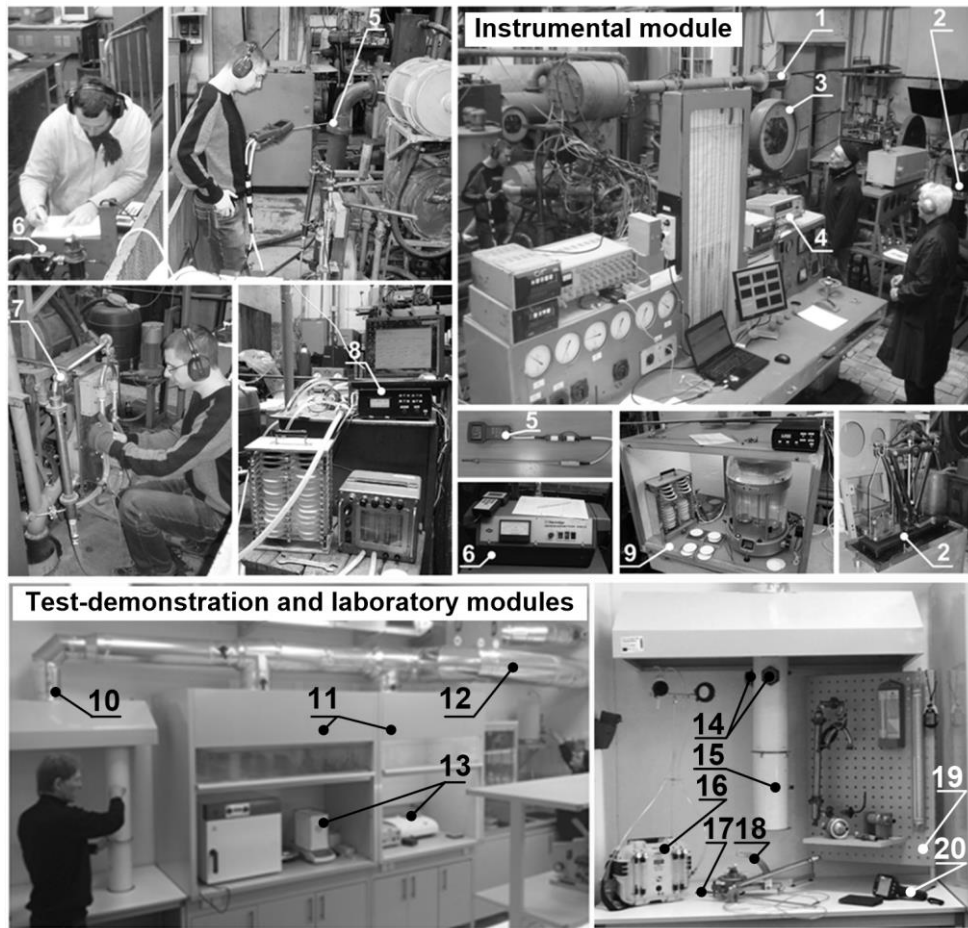


Рис. 1. Прилади та обладнання системи діагностики:

1 – вимірювач витрати повітря; 2 – вимірювач витрати палива; 3 – динамометр; 4 – тахометр; 5 – газоаналізатор; 6 – димомір; 7 – мікротунель МКТ-2; 8 – електронний модуль керування МКТ-2; 9 – камера для зважування фільтрів; 10 – отвір для установки пробовідбірної зонди; 11 – витяжна шафа; 12 – система вентиляції; 13 – лабораторні прилади; 14 – отвори для вимірювачів швидкості; 15 – аеродинамічна установка; 16 – електроаспіратор ASA-2М; 17 – пневмометрична трубка; 18 – мікроманометр; 19 – лабораторна стійка-трансформер; 20 – тепловізор.

Таблиця 1

Формули для обчислень результуючих похибок вимірювань величин GAS і PT

Величина	Визначення величини	Похибка вимірювань величини
Масовий викид газоподібних ЗР на і-му режимі, M_{gasi}	$M_{gasi} = u_{gas} \cdot C_{gasi} \cdot G_{exhi}$	$\delta M_{gasi} = \sqrt{\delta C_{gasi}^2 + \delta G_{exhi}^2}$
Середній за цикл масовий викид газоподібних ЗР, $M_{gas(m)}$	$M_{gas(m)} = \sum_{i=1}^n (WF_i \cdot M_{gasi})$	$\delta M_{gas(m)} = \delta M_{gasi} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (WF_i \cdot k_{Mgasi})^2}$
Середній за цикл масовий викид ТЧ, $M_{pm(m)}$	$M_{pm(m)} = \frac{m_f}{m_{sam}} \cdot \frac{G_{edf}}{1000}$	$\delta M_{pm(m)} = \sqrt{\delta m_f^2 + \delta m_{sam}^2 + \delta G_{edf}^2}$
Середня за цикл потужність двигуна, $P_{e(m)}$	$P_{e(m)} = \sum_{i=1}^n (WF_i \cdot P_{ei})$	$\delta P_{ei} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (WF_i \cdot k_{Pei})^2}$
Середньоексплуатаційний викид газоподібних ЗР, GAS	$GAS = \frac{M_{gas(m)}}{P_{e(m)}}$	$\delta GAS = \sqrt{\delta M_{gas(m)}^2 + \delta P_{e(m)}^2}$
Середньоексплуатаційний викид ТЧ, PT	$PT = \frac{M_{pm(m)}}{P_{e(m)}}$	$\delta PT = \sqrt{\delta M_{pm(m)}^2 + \delta P_{e(m)}^2}$

Примітка. У таблиці використані позначення: u_{gas} – постійний коефіцієнт, що залежить від ЗР; C_{gasi} – концентрація газоподібного ЗР у ВГ; G_{exhi} – масова витрата ВГ; WF_i – ваговий фактор і-го режиму; m_f – маса ТЧ, зібрана на фільтрі; m_{sam} – маса проби, яка пройшла через фільтр; G_{edf} – еквівалентна масова витрата газового потоку в тунелі; K_{Mgasi} – коефіцієнт, що дорівнює відношенню величин M_{gasi} і $M_{gas(m)}$; K_{Pei} – коефіцієнт, що дорівнює відношенню величин P_{ei} і $P_{e(m)}$.

На основі аналізу результатів досліджень похибки δPT_i , наведених в роботах [10–13], авторами запропоновані залежності для її визначення [14]:

$$\delta PT_i = \sum_{i=1}^n k_{modei} \cdot K_{Mpmi} \cdot (t_{fi} - t_{f0i}),$$

$$k_{modei} = -1,20 - 0,148 \cdot \bar{n} + 0,552 \cdot \bar{L},$$

де n – кількість режимів випробувального циклу; K_{modei} – коефіцієнт, що враховує вплив режиму роботи двигуна на величину δPT_i [14]; K_{Mpmi} – коефіцієнт, що дорівнює відношенню масового викиду ТЧ на i -му режимі до середнього за цикл викиду ТЧ; t_{fi} – фактичне значення температури проби на i -му режимі; t_{f0i} – температура проби на i -му режимі, яка приймається за базову і відповідає значенням $t_{dil} = 25^\circ\text{C}$ і $t_{f(max)} = 47^\circ\text{C}$; \bar{n} та \bar{L} – параметри, які визначають режим роботи двигуна: відносні значення числа обертів колінчастого валу та навантаження на колінчастий вал, відповідно.

Результати досліджень та їх аналіз

Проведено випробування системи діагностики на натурних об'єктах: транспортних дизелях: автотракторному – 4ЧН12/14, тракторному – Д65М, тепловозному – двигуні дизель-поїзда ДЕЛ-01 (рис. 2) і котлах: газових – ДКВР-20/13 і АОГВ-100Е, твердопаливному – КЧМ-2М-4 (рис. 3). В результаті випробувань зазначених двигунів за циклами, встановленими Правилами СЕК ООН R-49, R-96 і стандартом ISO-8178, визначено коефіцієнти K_{Pi} , K_{Mgasi} і K_{Mpmi} , які використовуються при оцінюванні точності вимірювань показників GAS і PT (табл. 2), досліджені результуючі похибки вимірювань цих величин і визначено діапазон варіювання методичної похибки δPT_i (рис. 4).

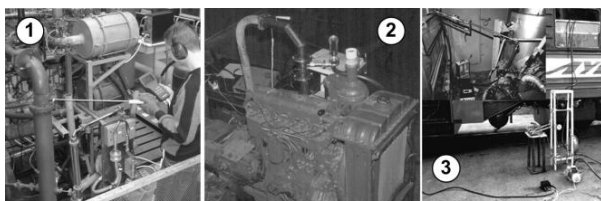


Рис. 2. Випробувальні стенди транспортних дизелів для проведення екологічних досліджень:

1 – автомобільного дизеля 4ЧН12/14; 2 – тракторного дизеля Д65М; 3 – двигуна дизель-поїзда ДЕЛ-01

Аналіз результатів досліджень показує:

– результуючі похибки вимірювань показників GAS і PT, що забезпечуються системою діагностики, складають: $\delta GAS = \pm 2,8...3,7\%$ і $\delta PT = \pm 2,6...4,5\%$; при цьому найбільший вплив на точність вимірювань показника GAS має похибка вимірювань потужності двигуна – δP_{ei} , на точність вимірювань показника PT – похибка вимірювань маси ТЧ – δm_f .

– діапазон варіювання методичної похибки δPT_i становить: $-8,3 \dots +6,3\%$, при цьому найбільше значення, що перевищує -8% , дана похибка приймає при $t_{dil} = 27...30^\circ\text{C}$ і $\Delta t_{f(max)} = 12...18^\circ\text{C}$ при режимі розбавлення ВГ в тунелі DM4; для усунення похибки δPT_i в тунелі потрібно застосовувати автоматизоване регулювання температури проби.

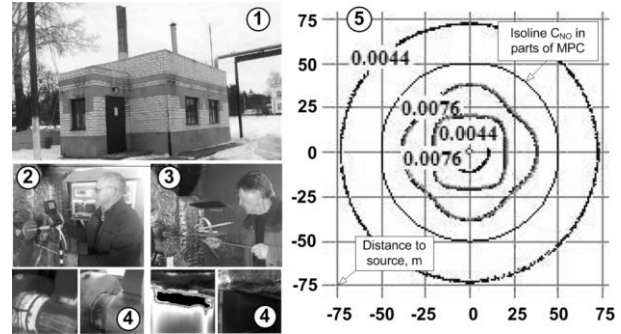


Рис. 3. Результати діагностики котелень:

1 – КУ з котлом КЧМ-2М-4; 2, 3 – контроль швидкості потоку і концентрацій ЗР димових газів котла ДКВР-20/13; 4 – термограми димососу і теплоізоляційного покриття КУ; 5 – оцінка розсіювання викидів монооксиду азоту в атмосфері.

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів K_{Pi} , K_{Mgasi} і K_{Mpmi} , встановлені для режимів тепловозного циклу ISO 8178-F

Коефіцієнт	Режим циклу ISO 8178-F		
	1	2	3
K_P	4,41	1,87	0,04
K_{Mgas}	3,25	0,48	0,07
K_{Mpm}	1,68	1,05	0,74

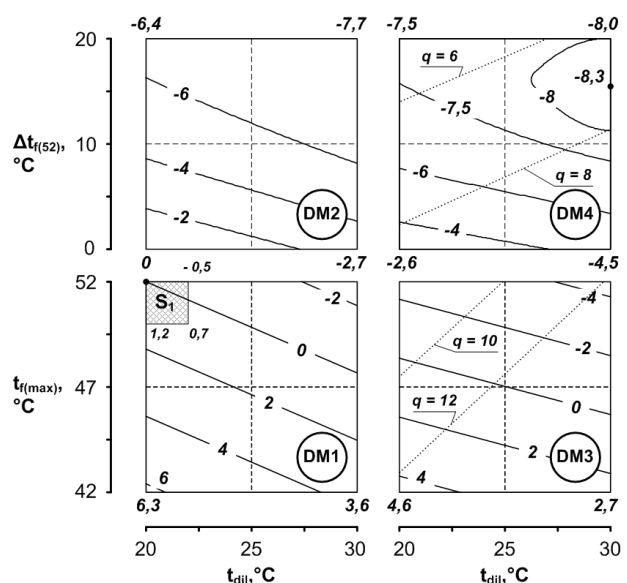


Рис. 4. Діапазони варіювання похибки δPT_i при різних режимах розбавлення ВГ в тунелі – DM [14]

Висновки

1. Створено універсальну, багатофункціональну систему екологічного діагностування ТД і КУ, яка дозволяє визначати показники, що характеризують хімічну і фізичну дію цих об'єктів на навколишнє середовище: концентрації, масові, питомі і середньоексплуатаційні викиди ЗР, шум, теплові забруднення, вібрації. Дана вимірювальна система складається з інструментального, тестувально-демонстраційного і лабораторного модулів, що дозволяє використовувати її як засіб діагностики, навчально-випробувальний стенд і лабораторію, а також застосовувати її в різних галузях: транспорті, енергетиці, природоохоронній і освітній сферах.

2. В системі діагностики реалізовані методи контролю і підвищення точності вимірювань середньоексплуатаційних викидів ЗР: метод визначення результуючих похибок вимірювань середньоексплуатаційних викидів газоподібних ЗВ і ТЧ – δGAS і δPT , що дозволяє оцінювати вплив на дані величини похибок вимірювального обладнання системи діагностики; метод підвищення точності вимірювань показника РТ за рахунок врахування методичної похибки вимірювань даної величини – δPT , обумовленої впливом температури проби в тунелі на контрольований викид ТЧ.

3. Проведено експериментальні дослідження системи діагностики та методів підвищення її точності на натурних об'єктах: транспортних дизелях: автотракторному – 4ЧН12/14, тракторному – Д65М, тепловозному – двигуні дизель-поїзду ДЕЛ-01 та котельних агрегатах: газових – ДКВР-20/13 і АОГВ-100Е, твердопаливному – КЧМ-2М-4. Транспортні дизелі було випробувано за циклами, встановленими Правилами ЄЕК ООН R-49, R-96 і стандартом ISO-8178, що дозволило отримати такі результати: встановлено коефіцієнти K_{Pi} , K_{Mgasi} і K_{Mpmi} , які використовуються при обчисленні похибок δGAS і δPT ; визначено значення даних похибок при використанні системи діагностики: $\delta GAS = \pm 2,8...3,7\%$ і $\delta PT = \pm 2,6...4,5\%$; встановлено, що найбільший вплив на величину δGAS має похибка вимірювань потужності двигуна, на величину δPT – похибка вимірювань маси ТЧ; визначено діапазон варіювання похибки δPT , який складає $-8,3 \dots +6,3\%$.

Література

1. Russel, R. (1993). Development of a Miniaturized, Dilution-Based Diesel Engine Particulate Sampling System for Gravimetric Measurement of Particulates. *SAE Technical Papers*, 931190, 12.
2. Редзюк, А.М. Щодо визначення масових викидів забруднюючих речовин двигунами колісних транспортних засобів [Текст] / А.М. Редзюк, О.А. Клименко, О.В. Кудренко // *Автошляховик України*, 2012. – № 4 (228) – С. 2–7.

3. Варламов, Г.Б. Загальні підходи до створення методологічних основ енерго-екологічного аналізу експлуатації об'єктів ПЕК [Текст] / Г.Б. Варламов, К.О. Приймак, Х. Шварцова // *Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*, 2013. – № 10 (116). – С. 2-9.
4. Lianga, Z., Tiana, J., Zeraati Rezaeia, S., Zhanga, Y. (2015). Investigation of SVOC nanoparticle emission from light duty diesel engine using GC×GC-ToF-MS, School of Mechanical Engineering, University of Birmingham, UK, 31.
5. Littera, D., Cozzolini, A., Besch, M., Velardi, M. (2013). Comparison of Particulate Matter Emissions from Different Aftertreatment Technologies in a Wind Tunnel. *SAE Technical Paper*, 2013-24-0175, 17.
6. Bielaczyc, P., Woodburn, J. (2016). Exhaust Emissions of Gaseous and Solid Pollutants Measured over the NEDC, FTP-75 and WLTC Chassis Dynamometer Driving Cycles. *SAE Technical Paper*, 2016-01-1008, 13.
7. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. [Текст] – К., 1999. – 34 с.
8. ОНД 86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. [Текст] С.-Пб., Гидрометеиздат, 1987. – 93 с.
9. Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений [Текст] / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
10. Hirakouchi, N., Fukano, I., Shoji, T. (1989). Measurement of Diesel Exhaust Emissions with Mini-Dilution Tunnel. *SAE Technical Papers*, 890181, 11.
11. Engeljehring, K., Schindler, W. (1993). Meeting ISO 8178 Requirements for the Measurement of Diesel Particulates with Partial-Flow Dilution Systems. *SAE Technical Papers*, 932466, 10.
12. Клименко, О.А. Дослідження та створення перспективної системи для визначення масових викидів забруднюючих речовин у відпрацьованих газах двигунів [Текст] / О.А. Клименко, А.М. Редзюк // *Автошляховик України*, 2012. – № 5 (229) – С. 2–8.
13. Nagano, H. (1990). Measurement of Unregulated Exhaust Emissions from Heavy Duty Diesel Engines with Mini-Dilution Tunnel. *SAE Technical Papers*, 900643, 10.
14. Полив'ячук, А.П. Підвищення ефективності систем контролю викидів твердих частинок з відпрацьованими газами дизелів [Текст] : монографія / А.П. Полив'ячук. – Х.: ХНАДУ, 2015. – 224 с.

References

1. Russel, R. (1993). Development of a Miniaturized, Dilution-Based Diesel Engine Particulate Sampling System for Gravimetric Measurement of Particulates. *SAE Technical Papers*, 931190, 12.
2. Redziuk A. (2012). With respect to the determination of the mass emissions of pollutants by wheeled vehicle engines. *Avtozhlyahovik Ukraine*, 4 (228), 2–7.
3. Varlamov, G., Prymak, K., Shvarzova, H. (2013). General approaches to the creation of methodological bases of energy-ecological analysis of the operation of fuel and energy complex facilities. *Energy saving. Power engineering. Energy audit*, 10(116), 2-9.
4. Lianga, Z., Tiana, J., Zeraati Rezaeia, S., Zhanga, Y. (2015). Investigation of SVOC nanoparticle emission from light duty diesel engine using GC×GC-ToF-MS, School of Mechanical Engineering, University of Birmingham, UK, 31.

5. Littera, D., Cozzolini, A., Besch, M., Velardi, M. (2013). Comparison of Particulate Matter Emissions from Different Aftertreatment Technologies in a Wind Tunnel. *SAE Technical Paper*, 2013-24-0175, 17.
6. Bielaczyc, P., Woodburn, J. (2016). Exhaust Emissions of Gaseous and Solid Pollutants Measured over the NEDC, FTP-75 and WLTC Chassis Dynamometer Driving Cycles. *SAE Technical Paper*, 2016-01-1008, 13.
7. SSN 3.3.6.037-99. (1999). Sanitary norms of production noise, ultrasound and infrasound. standards publisher, 34.
8. ISD 86. (1987). Method of calculating concentrations in the air of harmful substances contained in emissions of enterprises. Hydrometeoizdat, 93.
9. Novinsky, P., Zograph, I. (1985) Estimation of errors of measurement results. Energoatomizdat, St Petersburg, 248.
10. Hirakouchi, N., Fukano, I., Shoji, T. (1989). Measurement of Diesel Exhaust Emissions with Mini-Dilution Tunnel. *SAE Technical Papers*, 890181, 11.
11. Engeljehring, K., Schindler, W. (1993). Meeting ISO 8178 Requirements for the Measurement of Diesel Particulates with Partial-Flow Dilution Systems. *SAE Technical Papers*, 932466, 10.
12. Klimenko, O., Redziuk, A. (2012). Research and development of a promising system for determining the mass emissions of pollutants in the exhaust gases of engines. *Avtoshlyahovik Ukraine*, 5 (229), 2–8.
13. Nagano, H. (1990). Measurement of Unregulated Exhaust Emissions from Heavy Duty Diesel Engines with Mini-Dilution Tunnel. *SAE Technical Papers*, 900643, 10.
14. Polivyanchuk A. (2015). Improving the efficiency of diesel particulate emissions control systems: monograph. Publisher Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, 220.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Парсаданов, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Автор: ПОЛИВ'ЯНЧУК Андрій Павлович
д.т.н., проф.
ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
E-mail – apmail@meta.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9966-1938>

Автор: СМІРНИЙ Михайло Федорович
д.т.н., проф.
ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
E-mail – mfsmirny@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7083-5447>

Автор: РОМАНЕНКО Сергій Вікторович
аспірант
ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
E-mail – etv1715@gmail.com

Автор: СЕМЕНЕНКО Роман Анатолійович
аспірант
ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
E-mail – semenenko_roman@ukr.net

Автор: ПЛОТНИКОВА Раїса Валеріївна
к.т.н., доц.
ХДУХТ
E-mail – plotnikovaraisahduht@gmail.com

Автор: ОНАЦЬКИЙ Данило Павлович
студент
ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
E-mail – dani.onatskiy.11@gmail.com

Автор: ЄФИМОВ Олексій Сергійович
Студент
ХДУХТ
E-mail – mrspoliv@gmail.com

RESEARCH OF EFFICIENCY ECOLOGICAL DIAGNOSTICS SYSTEM OF HEAT ENGINES AND BOILER PLANTS

A. Polivyanchuk¹, M. Smirny¹, S. Romanenko¹, R. Semenenko¹, R. Plotnikova², D. Onatsky¹, O. Efimov²

¹O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

²Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ukraine

A universal, multifunctional system of environmental diagnostics of heat engines and boiler plants has been created, which allows one to determine indicators characterizing the chemical and physical effect of these objects on the environment: concentrations, mass, specific and average operational emissions of pollutants, noise, thermal pollution, vibration. This measuring system consists of instrumental, testing, demonstration and laboratory modules, which allows you to use it as a diagnostic tool, training and test bench and laboratory; as well as apply it in various fields: transport, energy, environmental and educational fields. The diagnostic system implements methods for monitoring and improving the accuracy of measurements of average operating emissions of pollutants: method for determining the resulting measurement errors of the average operational emissions of gaseous pollutants and particulate matter – GAS and PT indicators, which allows you to evaluate the impact on the data of the value of the errors of the measuring equipment of the diagnostic system; a method for increasing the accuracy of measurements of the normalized PT index by taking into account the methodological error of measurements of a given value due to the influence of the temperature of the sample in the tunnel on the measured emission of particulate matter - δPT_i . Experimental studies of the diagnostic system and methods for increasing its accuracy on full-scale objects were carried out: diesel engines: tractor 4CHN12/14 tractor D65M, diesel locomotive diesel engine DEL-01 and boiler units: gas - DKVR-20/13 and AOGV-100E, solid fuel - KCHM-2M-4. Transport diesels were tested according to the cycles established by the UNECE Regulations R-49, R-96 and the international standard ISO-8178. As a result of tests of these engines, the coefficients K_{Pb} , K_{Mgasi} and K_{Mpmi} were determined, which are used to assess the accuracy of measurements of GAS and PT indicators, the resulting measurement errors of these values were investigated and the range of variation of the methodical error δPT_i was determined.

Keywords: heat engine, boiler plant, diagnostics, environmental friendliness, pollutants, efficiency.